

# *Sistemas de conocimiento y de adquisición de conocimiento en la teleenseñanza\**

Fernando Lara Rojo\*\*



Con el aumento de la demanda de espacios y de recursos humanos calificados para la enseñanza en la educación superior, cobran importancia las técnicas de los sistemas basados en el conocimiento; la automatización parcial de la enseñanza a distancia, aprovechando la capacidad de las actuales redes de computadoras para almacenar, procesar y transferir grandes cantidades de información y conocimiento.

En este artículo se presenta un esquema para apoyar el desarrollo de estas técnicas. En primer lugar se revisan las técnicas más importantes utilizadas en la representación, uso y adquisición del conocimiento. A continuación se describen los alcances y limitaciones de los sistemas de instrucción ayudados por computadora (CAI) y de instrucción inteligente ayudada por computadora (ICAI). Al final se propone un esquema de sistemas tutoriales para teleenseñanza, que permite la automatización de cursos en su forma más básica y en el que a la vez se explotan las capacidades de comunicación en las redes para facilitar la interacción directa tutor-alumno y se propicia la colaboración entre los estudiantes de un curso.

## **Introducción**

En el ámbito de la enseñanza, los sistemas de adquisición y manejo de conocimiento, combinados con la red mundial de computadoras, la *World Wide Web* (WWW), ofrecen la posibilidad técnica de que un maestro proporcione materiales instruccionales a distancia, formule tareas y exámenes, reciba las respuestas y consultas de los estudiantes y transmita evaluaciones y observaciones. Existen propuestas para su instrumentación a través de sistemas apoyados en *groupware*.<sup>1</sup>

En el campo de la inteligencia artificial se han desarrollado sistemas basados en conocimiento, o

sistemas expertos (SE), para auxiliar en la solución de problemas, sobre todo en tareas de diagnóstico y diseño.<sup>2</sup> La etapa crítica en la construcción de SE ha sido la adquisición de conocimiento a partir de los expertos humanos. Esto se ha aminorado con la creación de herramientas para generar interfaces gráficas de adquisición de conocimiento, relativamente fáciles de usar por los expertos humanos mismos.

También se han construido sistemas instruccionales apoyados por computadora o sistemas Computer Aided Instruction (CAI), los que en cierta medida permiten la automatización de la enseñanza.<sup>3</sup> Los sistemas CAI reproducen en forma rudimentaria un proceso de enseñanza-aprendizaje basado en la presentación de materiales instruccionales, tareas y exámenes. En principio estos sistemas pueden ofrecerse para enseñanza a distancia a través de la red.

Un sistema de teleenseñanza puede ser más eficaz y atractivo si proporciona al estudiante los medios para dirigir preguntas, expresar sus observaciones e ideas al instructor y recibir del mismo respuestas, indicaciones y sugerencias. A más de permitir la comunicación vertical entre el tutor y los estudiantes a través de la red, se puede también facilitar la comunicación entre estudiantes interesados al mismo tiempo en el curso, con lo que se propicia la interacción colaborativa entre pares a través de la red. La estructura de sistema tutorial para la enseñanza a distancia que se propone en este

\* Este trabajo fue presentado por el autor en la conferencia magistral "Aprendizaje interactivo, individual y continuo", realizada los días 6 y 7 de octubre de 1997, con la participación de Fachhochschule Hannover, Technische Universität Vlothau, Universidad de Guadalajara y el ITESO.

\*\* Profesor investigador del Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática del ITESO.

artículo toma en cuenta estos elementos. A futuro puede plantearse la creación de herramientas para generar de interfaces de adquisición de conocimiento que apoyen el diseño de sistemas de teleenseñanza.

Los sistemas de instrucción inteligente ayudada por computadora, o sistemas Intelligent Computer Aided Instruction (ICAI),<sup>4</sup> son mucho más poderosos y flexibles que los sistemas CAI, pero requieren de un uso intensivo de conocimiento, utilizan técnicas de razonamiento más sofisticadas, y su diseño es más complejo. Es factible que los avances de esta tecnología incidan en el nivel de automatización y eficacia de la teleenseñanza basada en sistemas tutoriales de computadora.

### Sistemas expertos

Los mecanismos de solución de problemas de propósito general que se idearon en las primeras décadas de la inteligencia artificial resultaron insuficientes para atacar problemas complejos. Para superar esta dificultad se optó por utilizar conocimiento específico del dominio,<sup>5</sup> que permitiera realizar pasos de razonamiento más amplios y resolver casos de problemas que ocurren con frecuencia en áreas estrechas de expertos y para los cuales no se cuenta con soluciones bien definidas.

El conocimiento de un experto en una materia existe más bien como un conjunto, llamado heurística, de reglas empíricas y hechos aprendidos a través de la experiencia. La tecnología de los SE ofrece la posibilidad de representar el conocimiento heurístico y de hacerlo aplicable por medio de computadoras. El conocimiento experto depende en mucho del dominio y es dinámico, por lo que se reconoció la conveniencia de separar los algoritmos,<sup>6</sup> para la aplicación del conocimiento especializado del conocimiento mismo. Esto se expresa como el llamado *paradigma de diseño de los sistemas expertos*.

#### Sistema experto = conocimiento + inferencia

En consonancia con este concepto, un SE consta de dos componentes esenciales :

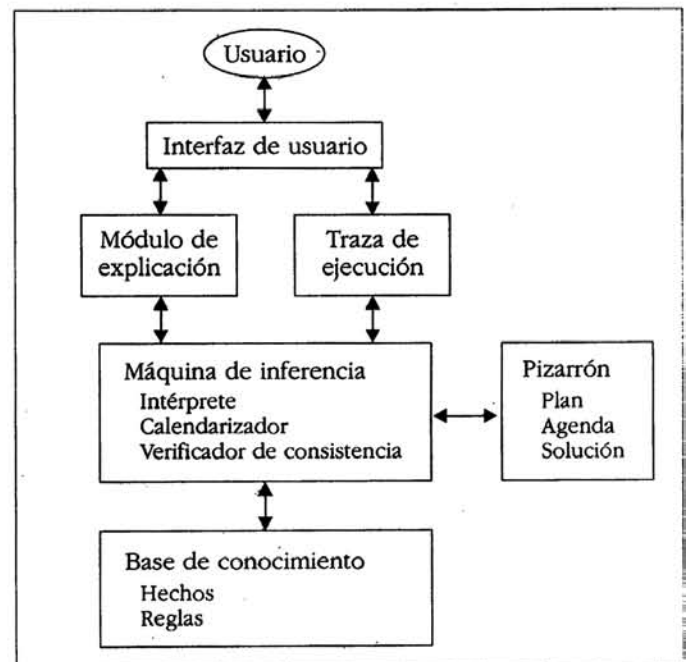
- Una base de conocimiento que contiene el conocimiento específico del dominio.
- Una máquina de inferencia que cuenta con los algoritmos para manipular la información codificada en la base de conocimiento.

La máquina de inferencia cuenta con: un calendarizador que mantiene el control sobre la agenda de acciones a realizar; un intérprete, el que ejecuta las reglas de la base de conocimiento indicadas, y un

supervisor de consistencia que intenta mantener una configuración consistente de los resultados obtenidos. Para registrar las hipótesis y las decisiones parciales y facilitar la cooperación entre diferentes módulos de razonamiento, puede disponerse de una estructura llamada *pizarrón*, donde se mantiene información relevante acerca de los planes de solución formulados y de la agenda de acciones en espera de ejecución. Por lo general los SE ofrecen también la capacidad de comentar las soluciones o recomendaciones que obtienen, así como una facilidad de trazado que permite seguir el proceso de inferencia paso a paso y que es particularmente útil durante la construcción y la depuración del sistema. La estructura general de un SE se indica en la fig.1.

La tecnología de los SE ofrece un conjunto poderoso de herramientas para el desarrollo de sistemas capaces de proporcionar asesoría experta a un usuario humano, que le sirvan de apoyo en la solución de problemas importantes y complejos. Sin embargo, existen limitaciones prácticas en la aplicación de esta técnica. Las principales son: dominio estrecho del campo de experiencia, adquisición de conocimiento laboriosa y desempeño frágil.

**Figura 1**  
**Arquitectura básica de un sistema experto**



### Representación del conocimiento y la inferencia

El objetivo de la representación del conocimiento es expresarlo en una forma manejable por la computa-

dora.<sup>7</sup> Los principales formalismos son: la lógica, las reglas de producción y las redes semánticas y los marcos de referencia (*frames*). Con cada formalismo de representación del conocimiento se asocian métodos específicos para el manejo de ese conocimiento.<sup>8</sup>

### **Representación del conocimiento usando lógica<sup>9</sup>**

La lógica de primer orden establece como principal presupuesto ontológico que el mundo consiste en objetos o elementos individuales y en relaciones entre los objetos. Es una lógica de predicados y declaraciones. Para formalizar el conocimiento declarativo se requiere establecer una conceptualización de la situación a describir, en la que se definen el universo de los objetos a considerar y las interrelaciones entre los mismos que se consideran relevantes en relación con el problema planteado.

El razonamiento en la lógica clásica de primer orden es monotónico. La lógica de predicados de primer orden es formalmente indecidible.<sup>10</sup> Sin embargo, comparada con otros formalismos para representar conocimiento en la inteligencia artificial, la lógica tiene la ventaja de contar con una sintaxis y una semántica claras. Aun así, en muchos casos es difícil expresar el conocimiento del dominio en fórmulas lógicas.

La sintaxis de la lógica de predicados prescribe las reglas mediante las cuales se pueden construir fórmulas bien formadas (estructuras significantes) a partir de fórmulas atómicas (signos o símbolos), conectivos lógicos y los cuantificadores universal y existencial.<sup>11</sup> La semántica establece las reglas para establecer el significado o valor de verdad de una fórmula según la interpretación empleada. Una interpretación consiste en la asignación de los elementos de una conceptualización dada (objetos, relaciones, funciones) a los elementos del lenguaje.

Para utilizar el conocimiento declarativo, expresado en lógica de primer orden, se emplea una regla de inferencia general: el principio de resolución. Para aplicar este principio se requiere expresar las fórmulas en forma clausal. Una cláusula es una disyunción de literales (fórmulas atómicas afirmadas o negadas), sin cuantificadores explícitos. La regla de resolución es completa para la demostración de inconsistencia. Para el tratamiento de la igualdad puede utilizarse la regla de paramodulación, que es una generalización de aquélla.<sup>12</sup> Los sistemas de razonamiento basados en resolución se extienden además con accesorios procedurales para el manejo de la aritmética y del álgebra de conjuntos (a fin de evitar ciclos) y para la simplificación de expresiones. La lógica

clásica de primer orden es incapaz de manejar información incompleta o incierta. En la actualidad continúa la investigación en lógicas no *standard* (comunes), que puedan llegar a ocupar un lugar prominente en los SE de generaciones futuras.

La lógica clásica, en su forma pura, prácticamente no ha sido utilizada como un formalismo de representación de conocimiento en SE. Se ha empleado más bien en los llamados razonadores automáticos o demostradores de teoremas. Éstos se han aplicado en la construcción de asistentes matemáticos (como verificadores de demostraciones, por ejemplo), en la verificación y síntesis tanto de *hardware* como de *software*, y en solución de problemas en robótica.

### **Sistemas de producción**

Las reglas de producción han sido utilizadas frecuentemente como un simple formalismo para expresar ciertos tipos de conocimiento y con buen éxito en los SE para la solución de problemas de clasificación, en los cuales el conocimiento disponible toma la forma de reglas heurísticas. En ellas se relacionan varias condiciones y conclusiones, de la manera siguiente: *if* (si) ciertas condiciones se cumplen *then* (entonces) se pueden derivar ciertas conclusiones.

La única semántica disponible para las reglas de producción es de naturaleza procedural. Existe sin embargo una relación estrecha entre el formalismo de las reglas de producción y el formalismo de la lógica de predicados. En los sistemas de producción se emplean también dos estrategias de inferencia básicas: la deducción (*top-down*) y la inducción (*bottom-up*).

El enfoque de sistemas de producción ha mostrado ser flexible y apropiado para varias áreas de problemas, en particular las de clasificación, diseño y planeación. Sin embargo, el conocimiento descriptivo no puede ser representado de manera natural. Asimismo, como es difícil construir y mantener bases con un número grande de reglas, de manera que hay que fragmentarlas, el formalismo de reglas de producción no ofrece medios directos para explotar esta modulación.

### **Redes semánticas y marcos de referencia**

Las redes semánticas se ilustran comúnmente como grafos dirigidos y etiquetados. Los vértices representan conceptos y las flechas representan relaciones binarias entre los conceptos. Ejemplos de estas relaciones son miembro-de y subconjunto-de, que pueden ser utilizados como una base para el mecanismo de inferencia conocido como herencia, mediante el cual un concepto hereda las propiedades de los



conceptos de un mayor nivel en la red. En los casos de problemas complejos y de formas más sofisticadas de inferencia, el formalismo de las redes semánticas es demasiado limitado, por lo que el trabajo posterior se ha orientado hacia formalismos más estructurados.

En un sistema basado en marcos, todo el conocimiento relacionado con un concepto está almacenado en una entidad compleja denominada marco de referencia (*frame*). Los marcos ofrecen un formalismo para agrupar explícitamente todo el conocimiento concerniente a las propiedades de objetos individuales o clases de objetos. Dentro de un marco, parte de las propiedades está especificada como información referida a otros marcos más generales, mediante flechas es-un. La información específica del concepto representado por un marco está depositada en localidades llamadas atributos o ranuras (*slots*). Los atributos pueden especificar facetas de varios tipos: de valor, valor por omisión (*default*), y duende-si-se-requiere (o accesorio procedural).

La información especificada en una taxonomía de marcos de herencia sencilla puede ser también expresada en lógica de predicados de primer orden. El formalismo de marcos con atributos múltiples o excepciones puede ser descrito usando lógicas no comunes, como la no-monotónica, desarrollada por McDermott y Doyle.<sup>13</sup>

El formalismo de marcos resulta bastante adecuado para la representación de conocimiento de naturaleza descriptiva y presenta ventajas con respecto a las cláusulas de Horn, de la lógica de predicados o las reglas de producción, por la facilidad con que puede tratar distintos tipos de conocimiento y porque se obtiene una organización jerárquica explícita del conocimiento; pero no es suficiente por sí mismo como una máquina de inferencia para todas las aplicaciones. Para muchas aplicaciones no triviales será necesario usar esquemas híbridos de representación del conocimiento.

### Razonamiento bajo incertidumbre

Para que un SE sea útil en un ambiente en el que se cuenta con conocimiento impreciso, debe ser capaz de capturar no sólo el conocimiento altamente especializado del experto sino también las incertidumbres inherentes a las piezas de información representadas. Con este objeto se han desarrollado modelos cuasiprobabilísticos: el método Bayesiano, el modelo de factores de certeza y la teoría de Dempster-Shafer. Posteriormente se han desarrollado modelos de red, como el formalismo denominado de red de creencias, en el que se manejan las variables relevantes del dominio y sus interrelaciones probabilísticas.

### Adquisición de conocimiento

Con el objeto de disminuir los costos de desarrollo de SE se han creado ambientes de programación especializados llamados *shells*, o herramientas para construcción de SE, que facilitan la programación y en cierta medida la adquisición del conocimiento. Sin embargo, esta última ha constituido la principal dificultad en el desarrollo de los SE, debido sobre todo a que el conocimiento empírico de los expertos humanos no se encuentra disponible en forma explícita, sino que debe hacerse consciente y luego formalizarse, antes de incorporarlo en el SE.

El conocimiento del experto se colecta en muchos casos a través de un intermediario denominado ingeniero de conocimiento. La adquisición de conocimiento puede ser apoyada en cierta medida utilizando aprendizaje de máquina. En general estas técnicas no compiten ventajosamente con el desarrollo manual de SE. Los procedimientos manuales de adquisición de conocimiento se basan común en la entrevista. Para facilitar la conceptualización del conocimiento contenido en una transcripción de la entrevista, ha sido propuesto, por ejemplo, el sistema KCT, una herramienta de conceptualización de conocimiento,<sup>14</sup> que se vale de técnicas de recuperación de información basadas en los modelos de espacio vectorial y de clasificación probabilística.

Los shells de problema específico para SE, dotados de componentes gráficas de adquisición de conocimiento, ofrecen un alto grado de reutilizabilidad y permiten el desarrollo de SE directamente por los expertos del dominio. Pero estos *shells* tienen una estructura monolítica, y disponen por regla general sólo de un método de solución de problemas y del sistema de adquisición de conocimiento correspondiente. La integración de modificaciones, aun pequeñas, por lo general no es posible y un error inicial en la elección del tipo de herramienta puede resultar muy costoso.

En vista de que la construcción de sistemas gráficos de adquisición de conocimiento es considerablemente más laboriosa, se ha considerado la conveniencia de desarrollar conceptos de reutilización para las componentes de adquisición de conocimiento. La metaherramienta DASH<sup>15</sup> permite generar herramientas de adquisición de conocimientos de dominio específico a partir de ontologías de dominio. Una ontología es un modelo declarativo de los términos y relaciones en un dominio. El objetivo primario es en generar herramientas de adquisición de conocimiento que permitan a usuarios no programadores editar gráficamente estructuras de conocimiento. Con esto no sólo se reducen costos, también se eliminan fuentes de error en la adquisición de cono-



*La primera cena, detalle.*

cimiento. Para ello se requieren ambientes de programación con interfaces gráficas, programación visual y, además, que el modelo de conocimiento básico esté adecuado al dominio de aplicación y al método de solución de problemas correspondientes. Esto ha podido ser constatado a través de varias experiencias, por ejemplo con CLASSIKA,<sup>16</sup> que es una herramienta gráfica de adquisición de conocimiento para clasificación heurística.

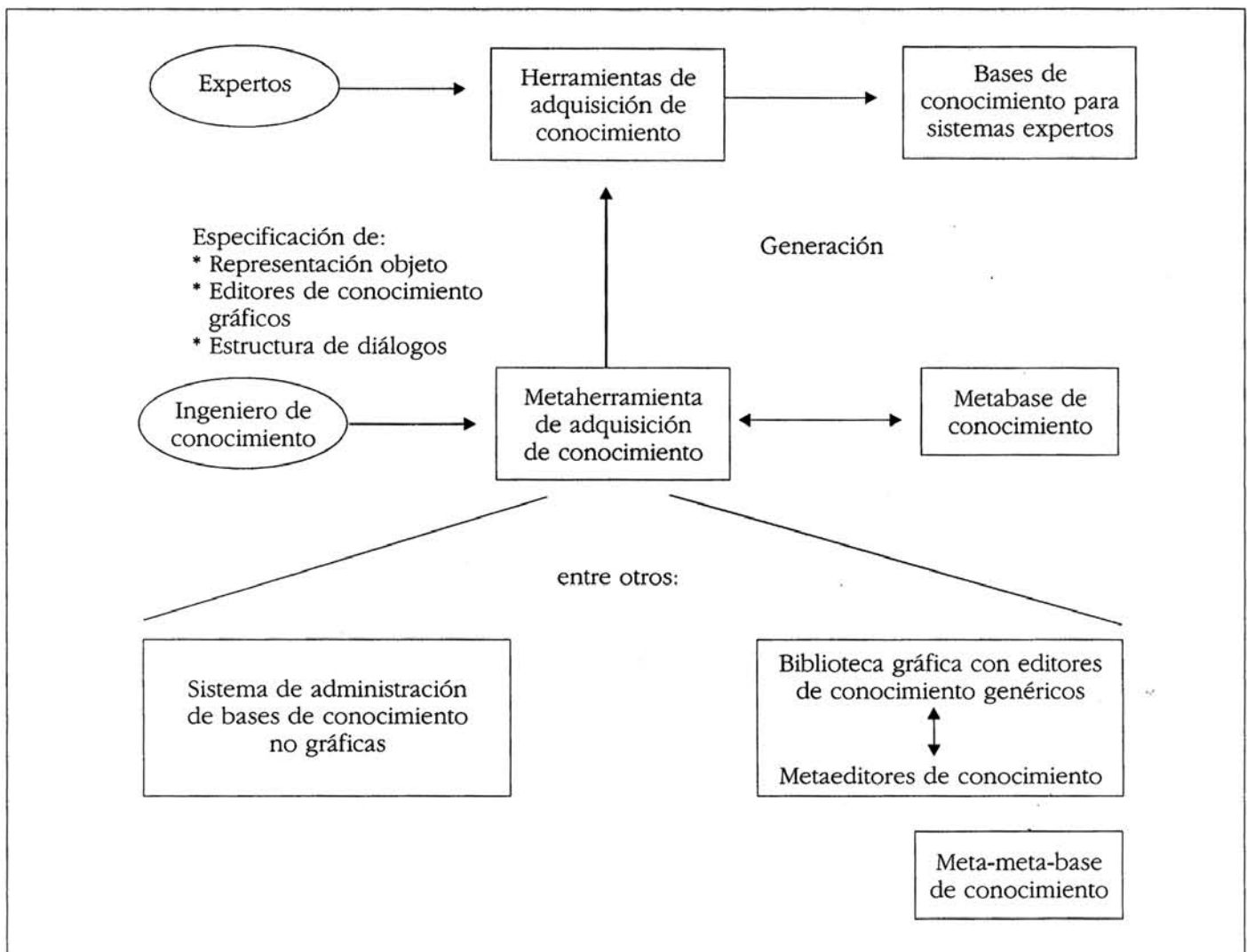
Con objeto de reducir el alto costo de desarrollo de los sistemas gráficos de adquisición de conocimiento, como CLASSIKA, se construyó la metaherramienta de adquisición de conocimiento Meta Knowledge Acquisition (METAKA),<sup>17</sup> generalizando los métodos de adquisición gráfica de conocimiento empleados en CLASSIKA. Primero se desarrolló una biblioteca de interfaces de usuario y se definieron editores de conocimiento genéricos, que incorporan la funcionalidad básica de la manipulación gráfica directa de conocimiento. Esto hace posible especificar, mediante parámetros instanciables<sup>18</sup> y méto-

dos de interfaz,<sup>19</sup> algunos editores de conocimiento poderosos y reutilizables que manipulan jerarquías, grafos, formularios y tablas.

En METAKA se utiliza un lenguaje declarativo para la representación interna de conocimiento; se tiene también un lenguaje explícito para la configuración de los editores de conocimiento, para la estructura de navegación de la interfaz de adquisición de conocimiento, y se establece a la vez una relación entre los editores de conocimiento y la representación interna. Esta construcción permite formular en forma declarativa un sistema de adquisición de conocimiento para un SE de clasificación arbitraria y, a partir de ella, generar de manera automática el sistema gráfico de adquisición de conocimiento correspondiente. La herramienta automatiza también la conexión entre la representación gráfica de conocimiento y la representación interna.

El lenguaje de METAKA es del mismo tipo que los lenguajes en cuya descripción se emplea. Esto permite, mediante la instanciación de tipos de objetos y

**Figura 2. Arquitectura de METAKA**



Adaptado de Gappa, U. Grafische Wissensakquisitionssysteme und ihre Generierung, 1995.

sus atributos,<sup>20</sup> la construcción de la metabase de conocimientos, que describe la funcionalidad de los sistemas gráficos de adquisición de conocimiento. La arquitectura básica de METAKA consiste en un sistema genérico de administración de conocimiento, con un módulo de adquisición de conocimiento textual (que se encarga de vigilar que las modificaciones en la base de conocimientos no generen errores en su consistencia e integridad referencial) y de la biblioteca de metaeditores genéricos de conocimiento. La arquitectura de METAKA y su forma de utilización se ilustran en la figura 2.

### Sistemas tutoriales inteligentes

La instrucción ayudada por computadora (CAI) es una tecnología educativa orientada al desarrollo de pro-

gramas instruccionales, que se encargan de dar tutoría individualizada a través de materiales de un curso cuidadosamente preparado. La mayor parte de ellos están limitados a la presentación de materiales instruccionales típicos y, si el estudiante repite consistentemente ciertos errores, a la presentación de materiales remediales típicos. En un sistema CAI tanto la información que se presenta al estudiante y como los problemas que se le ofrecen para probar su conocimiento, las respuestas a escoger entre un conjunto predefinido y las ramificaciones preestablecidas en la presentación, se encuentran previamente delimitadas de manera poco o nada flexible. A este estilo de enseñanza se le ha calificado como "hojeo de páginas electrónicas". No hay manera de detectar los verdaderos malentendidos del estudiante. No tienen la capacidad de construir problemas dirigidos a las



necesidades específicas del estudiante. Las respuestas preespecificadas no les confieren ningún criterio para juzgar las respuestas del estudiante más allá de verdadero o falso. Las limitaciones mencionadas son inherentes a los sistemas CAI y provienen del hecho de que los mismos programas CAI cuentan con poco o ningún conocimiento del dominio acerca del cual ofrecen la instrucción.

La estructura y las interrelaciones del conocimiento que se necesitan en los tutoriales son bastante más complejas que las requeridas en los SE típicos para solución de problemas. Esto se hizo patente en Guidon, con el cual se intentó usar Mycin como un tutor para estudiantes de medicina. El intento resultó inadecuado de muchas maneras, debido en gran parte a que en Mycin se tiene una representación de conocimiento uniforme basada en reglas.

Cuando un buen maestro humano observa que un estudiante comete errores, se involucra en varios procesos cognitivos que resultarán en la instrucción apropiada para el estudiante. Estos procesos incluyen:

- Determinar la respuesta correcta.
- Pensar acerca del proceso requerido para generar la respuesta correcta.
- Identificar el conocimiento requerido para generar la respuesta.
- Establecer hipótesis acerca de cuáles aspectos de este conocimiento faltan en el estudiante (posiblemente simulando el pensamiento del estudiante).
- Seleccionar una estrategia para instruir al estudiante acerca del conocimiento requerido.
- Instrumentar la estrategia elegida con materiales instruccionales específicos que el maestro puede generar sobre la marcha.

La instrucción inteligente ayudada por computadora (ICAI) es una área de investigación dedicada al desarrollo de sistemas instruccionales que poseen conocimiento acerca de su dominio de instrucción. Para emular algunas de las técnicas usadas por un buen instructor, los sistemas ICAI deben contar con cuando menos tres componentes "inteligentes": una base de conocimiento del dominio, un método de modelado del estudiante y una estrategia de enseñanza.

La base de conocimiento es responsable de generar problemas de prueba y de evaluar lo correcto de las soluciones del estudiante. Para la representación del conocimiento se utilizan algunas veces redes semánticas para describir hechos, causalidad y relaciones; se usan *scripts* para representar causalidad y relaciones temporales; reglas de producción para

emular heurísticas de solución de problemas utilizadas por expertos humanos, entre otros recursos. La componente de conocimiento se denomina experto articulado cuando tiene la capacidad de explicar los procesos de decisión necesarios para resolver un problema en una manera que sea consistente con los procesos humanos de solución de problemas.

A fin de que un sistema ICAI pueda adaptarse a los requerimientos instruccionales de los estudiantes individuales, la componente de modelado del estudiante de un ICAI debe generar una representación de la comprensión del estudiante acerca del material enseñado. Por lo general se orienta a generar y probar hipótesis que den cuenta de los conceptos o criterios equivocados del estudiante. Una vez que un sistema ICAI ha diagnosticado los errores de un estudiante en términos de conocimiento incorrecto o faltante, debe suministrarle instrucciones para corregir su base de conocimientos, poniendo en acción alguna estrategia de enseñanza. Una de ellas es el método socrático: se plantean al estudiante preguntas acerca de sus respuestas, a fin de estimularlo a razonar acerca de su propio conocimiento y clarificar así sus concepciones erróneas.

Otro enfoque es el de entrenamiento por un preceptor: cuando el estudiante está involucrado en la solución de un problema o en la adquisición de una habilidad, el sistema lo interrumpe en puntos seleccionados y le suministra información o le sugiere nuevas estrategias.

La investigación en IA ha mostrado que el conocimiento es la clave para el comportamiento inteligente ("In the knowledge lies the power").<sup>21</sup> Básicamente, para lograr comportamiento inteligente (y capacidad tutorial), se requiere conocimiento extenso y estructurado de tal manera que facilite los tipos de razonamiento y capacidades cognitivas deseados.

Un ejemplo interesante de programa ICAI es el Why, un sistema tutorial socrático que enseña las relaciones causales y los factores que afectan a la precipitación pluvial. El conocimiento lo representa en términos de *scripts* y puntos de vista múltiples, y utiliza también razonamiento basado en restricciones. Con estos recursos, Why expresa de manera conveniente las relaciones de causalidad y a la vez provee la organización necesaria para apoyar la estrategia de enseñanza deseada.

Otro ejemplo lo constituye Scholar, un tutorial de geografía de Sudamérica que almacena su conocimiento en una red semántica altamente estructurada. En la red se tienen además procedimientos embebidos con información lingüística, así como elementos de metaconocimiento y de sentido común. Todo esto le permite contestar preguntas no anticipadas específicamente, construir preguntas sobre tópicos dados

y sostener un diálogo contextual con el humano en un subconjunto del inglés relativamente confortable.

Un aspecto importante en el diseño de un sistema ICAI es el escenario de aprendizaje, la situación en la que se realiza el aprendizaje del estudiante. Un criterio básico para juzgar un escenario de aprendizaje es el balance en el control del proceso entre el estudiante y el tutor.

No existe una técnica de representación de conocimiento y razonamiento idónea para manejar las distintas tareas a realizar en la generación, utilización y mantenimiento de un sistema tutorial. Por regla general, un tutorial con las características mencionadas será un sistema híbrido en cuyo interior coexistan y cooperen diferentes modelos de conocimiento y técnicas de razonamiento. El costo de construcción de los sistemas ICAI es alto y presuponen gran habilidad técnica y creatividad.

### **Sistemas tutoriales para la teleenseñanza**

Con los medios de que se dispone en la actualidad, la construcción de un curso tutorial tradicional tipo CAI es relativamente accesible, ya que a este nivel prácticamente se requiere la transcripción de un curso convencional a un conjunto de hipertextos. Además, con los recursos actuales un tutorial por computadora puede constituir algo más que un "hojear de páginas electrónicas", ya que se pueden incorporar animaciones, sonido, videos, simulaciones de funcionamiento con parámetros proporcionados por el usuario, etc. En su forma mínima, un curso tutorial se integra con los siguientes elementos:

- Los contenidos del curso mismo, organizados en módulos o unidades. Un conjunto de ejercicios, cuestionarios y pruebas.
- Criterios y mecanismos de evaluación.
- Un sistema de control para la presentación de los temas, ejercicios y pruebas.
- Un sistema de evaluación de desempeño.
- Un módulo de comunicación con los usuarios.
- Información acerca del acceso a elementos externos de apoyo al curso, como videos, audiograbaciones, bases de datos, programas de simulación y diseño, entre otros.

Un sistema de este tipo, que entra en la categoría CAI, carece de conocimiento acerca de su dominio de aplicación que pueda apoyar la funcionalidad del sistema en los aspectos de estrategias de presentación, diagnóstico y modelo del usuario, evaluación y comunicación con los usuarios. Además adolece de las deficiencias ya anotadas.

Las redes ofrecen la posibilidad de instrumentar sistemas de "aprendizaje colaborativo y supervisado", esto es, ambientes de trabajo que a más de permitir la supervisión e intervención de un tutor humano, posibiliten las interacciones colaborativas entre los diferentes estudiantes interesados en un mismo tema en un tiempo dado. El control del aprendizaje no queda ya exclusivamente en manos del tutor sino que se comparte con el alumno y se ofrece también la posibilidad de un diálogo de pares entre los alumnos. Crook reporta experiencias de colaboración a través de computadoras.<sup>22</sup> También, en algunos sistemas tutoriales de tipo ICAI se han experimentado enfoques cooperativos que simulan la interacción con un estudiante compañero.<sup>23</sup>

La comunicación directa entre los alumnos que se encuentran en un proceso de aprendizaje puede contener también una componente de perturbación y de confusión. Pero esto no es del todo indeseable, ya que constituye retos y estímulos que mueven al interlocutor, que a revisar sus conceptos y su modo de razonamiento. Un ejercicio poderoso de adquisición de conocimiento es la formulación de explicaciones para ayudar a resolver las dudas de un compañero de instrucción; esto motiva al estudiante a organizar su pensamiento en su esfuerzo por producir la explicación pedida y justificar sus opiniones.

Aquí se ve la conveniencia de propiciar la colaboración opcional y flexible en el aula virtual a través de la red, aprovechando las facilidades de ésta para implementar mecanismos de comunicación horizontal entre pares, además de la comunicación directa-vertical-entre el tutor y cada uno de los estudiantes. Para ello se requiere prever un esquema de comunicación asociado a cada unidad o tema de trabajo, con un *pizarrón* o área común para las aportaciones de los alumnos y para intervenciones del tutor. Es obvio que la información recabada en las áreas de pizarrón puede ser capitalizada posteriormente por el autor del tutorial en el mantenimiento y mejoramiento del tutorial mismo. La figura 3 presenta la estructura básica de un sistema tutorial para teleenseñanza con las características propuestas en este artículo.

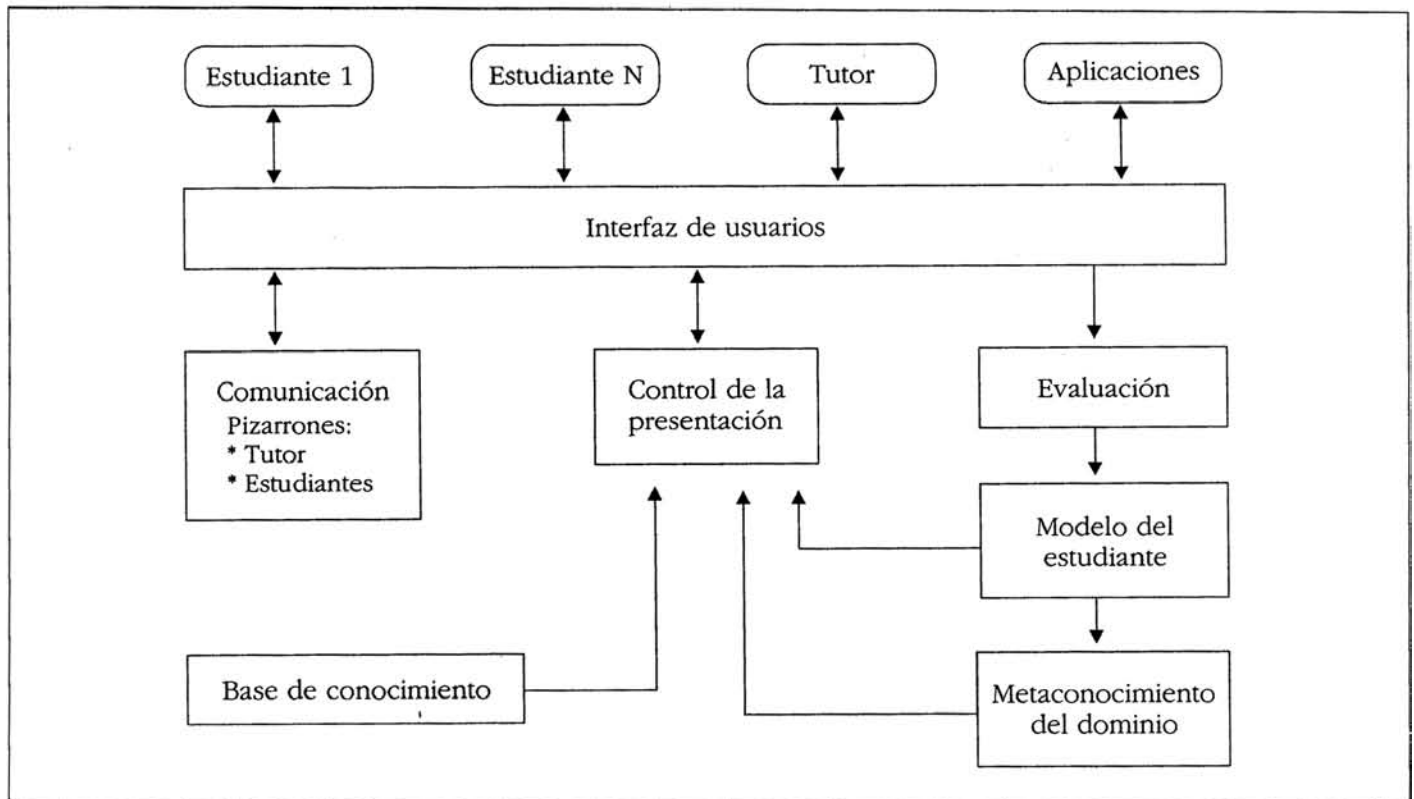
### **Trabajo a futuro**

La viabilidad y la eficacia del esquema propuesto tendrán que ser determinadas con base en una experimentación con sistemas de este tipo, de la cual pueden también surgir ideas para modificar y mejorar el mismo.

En la elaboración de tutoriales CAI o ICAI para teleenseñanza se presenta también, como en el caso de los SE tradicionales, el problema de adquisición



**Figura 3**  
**Estructura de un sistema tutorial para teleenseñanza.**



del conocimiento, el que debe formularse a partir del conocimiento y la experiencia en la enseñanza de los instructores. Conviene desde luego que la adquisición de conocimiento se lleve a cabo por el experto mismo, sin que se requiera para ello la intervención de un ingeniero de conocimiento.

Las herramientas de adquisición de conocimiento reportadas en secciones anteriores están encaminadas en general a la producción de SE para la solución de problemas en el dominio del diagnóstico y de la clasificación heurística. De acuerdo a lo reportado en estos casos, se obtienen mejores resultados con interfaces gráficas de adquisición de conocimiento.

Habría que considerar la relación costo-beneficio de contar con una metaherramienta de adquisición de conocimiento para facilitar la construcción y mantenimiento de programas tutoriales, con la cual un experto y tutor del dominio, sin requerir de una gran capacidad en programación o de manejo de las técnicas de utilización de las redes, pueda definir, en un ambiente visual, los mecanismos de representación y razonamiento a utilizar en el tutorial la interfaz de adquisición de conocimiento, la base de conocimiento, los esquemas de presentación y evaluación del sistema tutorial, y las interfaces con los usuarios y con la red.

Hasta aquí el objetivo perseguido consiste en la utilización de la capacidad de las redes para proporcionar información instruccional a distancia en un esquema que corresponde básicamente a la categoría CAI, y reforzarla con mecanismos de comunicación con un tutor y entre estudiantes de un curso. Este esquema ofrece ya algo más que el simple "hojear de páginas electrónicas".

En el esquema de tutorial propuesto en la figura 3 se incluye un componente de meta-conocimiento o conocimiento acerca del dominio para apoyar las funciones de diagnóstico del estado de conocimiento del usuario y la estrategia de enseñanza. Esta función requiere un uso más intensivo del conocimiento y de diferentes técnicas de razonamiento, lo que es en sí una meta de los sistemas ICAI. Queda todavía un buen trecho por recorrer para construir tutores más "inteligentes", con los que se logre una mayor eficacia en los procesos de aprendizaje y aun en los de aprendizaje heurístico y descubrimiento. Un sistema tutorial requiere no sólo conocimiento de su dominio sino también la perspectiva acerca de este conocimiento que le permita transferirlo en forma eficaz a cada alumno.

De cualquier manera, es de esperar que la investigación en sistemas de instrucción inteligente ayudada por computadora (ICAI), produzca en el futuro

resultados que sean también capitalizables en la teleenseñanza.

## Conclusiones

Describimos las características esenciales de los sistemas basados en conocimiento o SE, así como los métodos principales de representación de conocimiento y razonamiento automático con los que se han construido SE de gran poder y utilidad, particularmente en los campos del diagnóstico y del diseño. Se discutió asimismo la problemática de la adquisición de conocimiento a partir de los expertos humanos y de las metaherramientas encaminadas a producir interfaces gráficas de adquisición de conocimiento. Estas herramientas les facilitan a los expertos humanos la construcción por sí mismos de bases de conocimiento en su dominio de expertez, prácticamente sin la intermediación de ingenieros de conocimiento.

Han sido desarrollados sistemas de instrucción ayudada por computadora (CAI) con los que pueden automatizarse, en cierta medida, esquemas rudimentarios de enseñanza-aprendizaje. Hemos propuesto un esquema de sistemas tutoriales interactivos para la enseñanza a distancia que permitan no sólo la intervención del tutor sino que también posibiliten la participación de otros estudiantes interesados simultáneamente en el mismo curso. Con esto se intenta fomentar la interacción colaborativa en una comunidad virtual a través de la red y enriquecer así los procesos de enseñanza-aprendizaje a distancia. Para facilitar la producción de tutoriales con estas características, puede pensarse, con base en las experiencias en SE en el área de diagnóstico, en la creación de metaherramientas para facilitar la construcción de tutoriales para teleenseñanza.▲

## Notas

1. Brosda, V. y J. Favela, "Enseñanzas interactivas, individuales y permanentes", *proceedings* de la conferencia Enseñanzas interactivas, individuales y permanentes, Universidad de Guadalajara, 1997.
2. Hayes-Roth, F., D.A. Waterman, D.B. Lenat. *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading, 1983.
3. Andrioli, S.J., y G.W. Hopple. *Applied artificial intelligence: a source book*, McGraw-Hill, 1992.
4. Carbonell, J.R. "AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction", en *IEEE Trans. Man-Machine Syst.*, vol.11, núm. 4, Dec.1970, pp. 190-202. Véase también: Rickel, J.W. "Intelligent computer-aided instruction. A survey organized around system components" en Andrioli, S.J., *Op. cit.*
5. El *dominio de conocimiento*, llamado también *universo del discurso*, puede entenderse como el campo específico del conocimiento existente sobre un tema o aspecto concreto.
6. Algoritmo es el procedimiento o conjunto de operaciones e instrucciones que definen la solución de un problema. Es el nombre dado a cualquier procedimiento de cálculo y a los símbolos matemáticos que lo especifican.
7. Lucas, P., y L. van der Gaag, *Principles of expert systems*, Addison-Wesley, 1991.
8. En lógica y matemáticas, un *formalismo* es el conjunto de normas y de símbolos empleados para representar enunciados (o expresiones) por medio de estructuras simbólicas o fórmulas, sin importar el significado o contenido de las mismas. La *formalización* es la reducción de enunciados o secuencias de enunciados a fórmulas (estructuras simbólicas) que se justifican unas a otras, atendiendo sólo a su estructura.
9. Genesereth, M.R. y N.J. Nilsson, *Logical foundations of artificial intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, Palo Alto, 1988.
10. La lógica de predicados de primer orden es *indecidable* porque con ella no existe ningún procedimiento con el que dada cualquier fórmula lógica, se pueda determinar (decidir) de manera categórica si dicha fórmula es o no válida.
11. Russell, S.J. y P. Norvig. *Artificial intelligence: a modern approach*, Prentice-Hall, 1995.
12. Bundy, A. *The computer modelling of mathematical reasoning*, Academic Press, 1983.
13. McDermott, D. "Non-Monotonic Logic I", en *Artificial Intelligence*, 13(1-2): 41-72, 1980.
14. Fujihara, H., D.B. Simmons, N.C. Ellis y R.E. Shannon. "Knowledge Conceptualization Tool", en *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, vol.9, núm.2, March-April, pp.209-219, 1997.
15. Eriksson, H., A.R. Puerta, y M.A. Musen. *Generation of knowledge-acquisition tools from domain ontologies*, Medical Computer Science Group, Stanford University School of Medicine, Stanford, 1994.
16. Gappa, U. "The knowledge acquisition tool CLASSIKA". Workshop on knowledge acquisition, 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-89), Detroit, agosto de 1989.
17. Gappa, U. "Grafische Wissensakquisitionssysteme und ihre Generierung", disertación, Universität Karlsruhe, 1995.
18. Un *parámetro instanciable* es toda variable o criterio al que es posible determinar o identificar como elemento del dominio de conocimiento.
19. Una *interfaz* consiste en un conjunto de convenciones, transformaciones y procedimientos empleado para interconectar y relacionar adecuadamente dos sistemas. En este caso se trataría de interfaces que posibilitan la interacción del usuario con el sistema de conocimiento.
20. *Instanciación* es el proceso por el que se asignan valores concretos a las variables de una función matemática o de un programa de computadora. En los sistemas de adquisición de conocimiento la *instanciación* es el proceso para determinar dentro del programa un elemento o término del dominio de conocimiento.
21. Feigenbaum, E.A. "The art of artificial intelligence: I. Themes and case studies for knowledge engineering", 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-77), 1977.
22. Crook, Ch. *Computers and the collaborative experience of learning*, Routledge, 1994.
23. Véase por ejemplo: Aimeur, E. y C. Frasson. "Analyzing a new learning strategy according to different knowledge levels". *Computers Educ.* Vol.27, núm.2, 115-127, 1996.